

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME BENHOUR MOURA

**POLPA CELULÓSICA E PAPEL DE *Eucalyptus dunnii* Maiden COM 4, 6 E 7
ANOS**

CURITIBA

2015

GUILHERME BENHOUR MOURA

**POLPA CELULÓSICA E PAPEL DE *Eucalyptus dunnii* Maiden COM 4, 6 E 7
ANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado a disciplina AT063 – Estágio
Profissionalizante em Engenharia Industrial
Madeireira, Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná, como requisito
parcial para a obtenção do título de Engenheiro
Industrial Madeireiro.

Orientador: Prof. Dr. Umberto Klock

CURITIBA

2015

Moura, Guilherme Benhour

Polpa celulósica e papel de *Eucalyptus dunnii* Maiden
com 4, 6 e 7 anos. – Curitiba, 2015.

74 f.

Orientador: Umberto Klock

TCC (Graduação – Engenharia Industrial Madeireira) –
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

1. Eucalipto. 2. Polpação Kraft. 3. Branqueamento

“Serei mais livre em meu desterro do que vós em vosso palácio. Minha liberdade pelo menos me acompanhará. Minha alma nunca se escravizou nem nunca se humilhou na presença desses rebeldes vassalos, que ousaram impor-vos leis e esforçaram-se para compelir-me a prestar um juramento que a minha consciência repelia.”

(Carlota Joaquina Teresa Caetana de Bourbon e Bourbon)

RESUMO

O gênero *Eucalyptus* é o principal fornecedor de fibras curtas para a fabricação de celulose e papel no Brasil, representando cerca de 86% da produção brasileira. Em 2014 a sua produção atingiu produção de 16,5 milhões de toneladas de polpa. Desde a introdução do *Eucalyptus dunnii* Maiden no Brasil, este tem apresentando satisfatório crescimento, característica a qual aliada a sua resistência ao frio vem atraindo a atenção de empresas produtoras de celulose da região sul do país. O objetivo deste estudo foi determinar as características e propriedades da polpa celulósica e do papel obtido através de processo Kraft de baixo número Kappa, de amostras de madeira de *E. dunnii* com 4, 6 e 7 anos de idade, provenientes do Estado do Rio Grande do Sul. As condições de cozimento utilizadas foram: AA de 20%, sulfidez de 25% e fator H de 1100, realizado em duplicata. O rendimento médio bruto, número Kappa, e características do licor de cozimento foram determinados. Realizou-se a sequência de branqueamento D(EP)DP para posteriormente a manufatura das folhas de papel branqueado com 4 tempos de refinação (0, 15, 30 e 45 minutos), para a verificação do desenvolvimento de propriedades físicas, ópticas e mecânicas. Foram determinadas as seguintes propriedades de acordo com as normas da *Technical Association of the Pulp and Paper Industry*: espessura, densidade aparente, volume aparente, alvura e opacidade, índice de tração, índice de rasgo e índice de arrebetamento de cada tratamento, branqueado e não - branqueado. As folhas foram confeccionadas com gramaturas de $60 \pm 3 \text{ g.m}^{-2}$. As amostras apresentaram características químicas e físicas adequadas para a produção de celulose e papel. Os papéis produzidos resultaram em boa resistência mecânica, elevada alvura (88,6%) para os branqueados e elevada opacidade (97,5%) para os não - branqueados. O maior rendimento bruto da polpa foi 51,7% com número Kappa de 9,6, obtido com 6 anos de idade. Analisando os resultados obtidos, verificou-se a viabilidade da utilização da espécie *Eucalyptus dunnii* como matéria-prima para a produção de polpa celulósica e papel.

Palavras-chave: Eucalipto. Polpação Kraft. Branqueamento.

ABSTRACT

The genus *Eucalyptus* is the leading provider of short fibers for the manufacture of pulp and paper in Brazil, representing about 86% of Brazilian production. In 2014 its production reached 16,5 million tons of pulp. Since the introduction of *Eucalyptus dunnii* Maiden in Brazil, this is presenting satisfactory growth, characteristic which together with its resistance to cold has attracted the attention of producers of pulp in the southern region of the country. The aim of this study was to determine the characteristics and properties of pulp and paper obtained through low number Kappa Kraft process, in wood samples *E. dunnii* with 4, 6 and 7-year-old from the state of Rio Grande do Sul. The cooking conditions were used: 20% AA, sulfidity of 25% and factor H 1100 conducted in duplicate. The average gross income, Kappa number, cooking liquor characteristics were determined. It carried out the bleaching sequence D(EP)DP for later manufacture of bleached paper sheets with 4 times refining (0, 15, 30 and 45 minutes), to check the development of physical, optical and mechanical properties. They determined the following properties according to the standards of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry: thickness, bulk density, apparent volume, brightness and opacity, tensile index, tear index and burst index of each treatment, bleached and unbleached. The sheets were made with weights of 60 ± 3 g.m⁻². Samples showed physical and chemical characteristics suitable for the production of pulp and paper. The paper produced result in high mechanical strength, high brightness (88,6%) for the bleached and high opacity (97,5%) for unbleached. The higher gross yield of pulp was 51,7% with Kappa number of 9,6, obtained with 6 years old. Analyzing the results, it was verified the viability of using the species *Eucalyptus dunnii* as raw material for the production of pulp and paper.

Keywords: *Eucalyptus*. Kraft pulping. Bleaching.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA	25
TABELA 2 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA POLPA CELULÓSICA	27
TABELA 3 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO BRANQUEAMENTO DA POLPA CELULÓSICA	28
TABELA 4 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO	29
TABELA 5 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL	30
TABELA 6 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÂNICAS E ÓPTICAS DO PAPEL PRODUZIDO	31
TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> COM 4, 6 E 7 ANOS DE IDADE	35
TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i> COM 4, 6 E 7 ANOS DE IDADE	36
TABELA 9 - TEOR DE SÓLIDOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL	37
TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DAS POLPAS CELULÓSICAS OBTIDAS A PARTIR DA MADEIRA DE <i>Eucalyptus dunnii</i>	38
TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS	40
TABELA 12 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR IDADE	41
TABELA 13 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR TIPO DE PAPEL	41
TABELA 14 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR REFINAÇÃO	42
TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS	43

TABELA 16 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR IDADE	44
TABELA 17 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL	44
TABELA 18 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR REFINAÇÃO	45
TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS	46
TABELA 20 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA O FATOR IDADE.....	47
TABELA 21 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL.....	47
TABELA 22 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA O FATOR REFINAÇÃO.....	48
TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RASGO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS	49
TABELA 24 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR IDADE	50
TABELA 25 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL	50
TABELA 26 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR REFINAÇÃO	51
TABELA 27 – VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS PRODUZIDOS	52
TABELA 28 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS	53
TABELA 29 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS	53
TABELA 30 - VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS.....	54

TABELA 31 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS	55
TABELA 32 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS	55
TABELA 33 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS PRODUZIDOS	56
TABELA 34 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS	57
TABELA 35 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS	57
TABELA 36 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS	58
TABELA 37 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS	59
TABELA 38 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	14
2.1.1 <i>Eucalyptus dunnii</i>	14
2.2 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA	15
2.2.1 Celulose	15
2.2.2 Lignina	15
2.2.3 Extrativos	16
2.2.4 Material inorgânico	17
2.3 PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL	18
2.3.1 Processo Kraft	18
2.3.2 Branqueamento da polpa celulósica	19
2.3.2.1 Histórico do branqueamento	20
2.3.2.2 Qualidade e eficiência do branqueamento	21
2.3.3 Processo de refinação	21
2.3.4 Produção de Papel	22
3 MATERIAS E MÉTODOS	24
3.1 MATERIAL	24
3.1.1 Espécie estudada	24
3.2 MÉTODOS	25
3.2.1 Determinação das características da madeira	25
3.2.1.1 Características químicas da madeira	25
3.2.1.2 Características físicas da madeira	26
3.2.2 Obtenção e caracterização da polpa celulósica	26
3.2.3 Processo de branqueamento da polpa celulósica	28
3.2.4 Processo de refinação da polpa celulósica	29
3.2.5 Produção e caracterização do papel	29
3.2.5.1 Propriedades físicas do papel	31

3.2.5.1.1 Umidade	31
3.2.5.1.2 Gramatura	31
3.2.5.1.3 Espessura.....	32
3.2.5.1.4 Volume aparente e densidade aparente.....	32
3.2.5.2 Propriedades mecânicas do papel.....	32
3.2.5.2.1 Resistência a tração	32
3.2.5.2.2 Resistência ao arrebentamento (estouro)	32
3.2.5.2.3 Resistência ao rasgo	33
3.2.5.3 Propriedades ópticas do papel	33
3.2.5.3.1 Alvura	33
3.2.5.3.2 Opacidade	33
3.2.6 Processamento de dados	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS MADEIRAS.....	35
4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MADEIRAS	36
4.3 CARACTERÍSTICAS DO LICOR NEGRO RESIDUAL	37
4.4 CARACTERÍSTICAS DA POLPA CELULÓSICA.....	38
4.5 PROPRIEDADES DO PAPEL.....	39
4.5.1 Propriedades físicas do papel.....	39
4.5.1.1 Gramatura	39
4.5.1.2 Densidade aparente	39
4.5.2 Propriedades mecânicas do papel.....	42
4.5.2.1 Índice de tração	42
4.5.2.2 Índice de Arrebentamento	45
4.5.2.3 Índice de Rasgo.....	48
4.5.3 Propriedades ópticas do papel.....	51
4.5.3.1 Alvura	51
4.5.3.1.1 Papel não – branqueado	52
4.5.3.1.2 Papel branqueado	54
4.5.3.2 Opacidade	56
4.5.3.2.1 Papel não – branqueado	56
4.5.3.2.2 Papel branqueado	58

5 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	62
APÊNDICE 1 - Densidade aparente.....	69
APÊNDICE 2 - Índice de tração	70
APÊNDICE 3 - Índice de arrebentamento	71
APÊNDICE 4 - Índice de rasgo	72
APÊNDICE 5 - Alvura	73
APÊNDICE 6 - Opacidade	74

1 INTRODUÇÃO

O papel está presente no nosso cotidiano em diversas etapas de nossas vidas. Desde sua concepção, atribuída a Ts'ai Lun no ano 105, este foi aperfeiçoado e tomou a si a responsabilidade de armazenar a história da humanidade e difundir o conhecimento. Atualmente a fabricação e o comércio do papel colaboram para o desenvolvimento da economia mundial.

Atualmente a produção de papel é fundamental para a humanidade, tendo inclusive sua produção vinculada há indicadores de desenvolvimento. Somente no Brasil a exportação de papel gerou US\$ 10 bilhões em 2014, um crescimento de 10% em comparação ao ano anterior (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA), 2014; INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ), 2015).

A indústria de celulose e papel busca constantemente espécies alternativas, com o objetivo de aprimorar o processo de produção, aumentar o rendimento e melhorar as propriedades do produto final.

O *E. dunnii* apresenta-se como uma alternativa viável ao plantio em regiões de clima ameno, no entanto as informações relativas as consequências do seu emprego na produção de celulose e papel ainda são escassas.

Observando as necessidades de mercado, este estudo avalia as características físicas e químicas da madeira de *E. dunnii* com diferentes idades, evidenciando a viabilidade de seu emprego na indústria papelreira e avaliando as propriedades do papel produzido.

1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo determinar as características e propriedades da polpa e do papel obtido através do processo Kraft de baixo número Kappa, utilizando amostras de madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden com 4, 6 e 7 anos de idade, provenientes das cidades de São Gabriel e Santana do Livramento, no Estado do Rio Grande do Sul.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Pretende-se com este estudo:

- a. Caracterizar física e quimicamente a madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden com 4, 6 e 7 anos de idade;
- b. Determinar o rendimento bruto dos processos Kraft e o número Kappa das polpas celulósicas obtidas;
- c. Avaliar as características do papel branqueado e não – branqueado com quatro tratamentos de refinação (0, 15, 30 e 45 minutos);
- d. Determinar a densidade aparente, alvura, opacidade, índice de tração, índice de rasgo e índice de arrebatamento de cada tratamento;
- e. Avaliar a influência do branqueamento sobre as propriedades do papel;
- f. Avaliar a influência da idade sobre as propriedades do papel;
- g. Avaliar a influência do refino sobre as propriedades do papel.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GÊNERO *Eucalyptus*

O gênero *Eucalyptus*, figura-se entre os mais bem-sucedidos projetos de implantação florestal em zonas tropicais e subtropicais do globo. Este sucesso é sobretudo em decorrência ao rápido crescimento, grande diversidade e adaptabilidade a diferentes condições climáticas e ambientais (OLIVEIRA, 2011; DIAS; SIMONELLI, 2013).

A celulose proveniente da madeira deste gênero, em decorrência de suas características, como o menor tamanho de fibra, alta higroscopicidade, elevada resistência mecânica da fibra individual e flexibilidade, tornou-se a principal matéria-prima da indústria de celulose e papel (FOELKEL, 2007).

O Brasil é o maior produtor mundial de celulose de fibra curta, em 2014 esta celulose correspondeu a 85,9% da produção nacional de fibras (IBÁ, 2015).

2.1.1 *Eucalyptus dunnii*

O *Eucalyptus dunnii* Maiden é uma espécie que pertence a seção *Maidenaria*, sua distribuição original é restrita região nordeste do Estado de New South Wales (NSW) e sudeste de Queensland (QLD), na Austrália. Na região leste da Austrália, a temperatura varia entre 28 a 30°C no verão, entretanto as médias das temperaturas mínimas no inverno variam entre 0 a 3°C (JOVANOVIĆ; BOOTH, 2002; BRASIL, 2015).

De acordo com Brasil (2015) esta espécie atinge 50 m de altura e 1 a 1,5 m de DAP (ocasionalmente 2,5 m), com fuste limpo de 30 a 35 m. A madeira é semelhante a do *E. grandis*, podendo ter as mesmas utilizações.

Na Austrália, seu crescimento é considerado um dos mais rápidos entre as espécies de *Eucalyptus* spp. Em decorrência de características como o rápido crescimento, uniformidade de tronco, resistência a baixas temperaturas e a geada, o *E. dunnii* destaca-se como uma das principais espécies para o plantio na região sul do Brasil (EMBRAPA, 1988; PEREIRA *et al.*, 1986).

2.2 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

2.2.1 Celulose

Na natureza a celulose é o biopolímero mais abundante e o principal componente estrutural das plantas (KLOCK *et al.*, 2005; ANTÔNIO, 2012).

A celulose pode ser definida como um composto o qual é formado por uma cadeia linear, originária de unidades de anidrogucose, contudo, como explica Andrade (2006), a celulose pode ser denominada, em um conceito técnico como um produto do desfibramento ou da deslignificação de materiais fibrosos.

D'Almeida (1988a) explica a celulose como um polissacarídeo formado por unidades do monossacarídeo β -D-glucose, que se ligam entre si através dos carbonos 1 e 4, dando origem a um polímero linear.

As moléculas de celulose tendem a formar pontes de hidrogênio intramoleculares (entre unidades de glucose da mesma molécula) e intermoleculares (entre unidades de glucose de moléculas adjacentes) (D'ALMEIDA, 1988a).

As fibras são constituídas de regiões cristalinas (altamente ordenadas) e amorfas (desordenadas). Na região cristalina, a fibra tem maior resistência à tração, ao alongamento, e à solvatação (absorção de solvente). A resistência à tração na região cristalina é quinze vezes o valor apresentado na região amorfa, onde a fibra tem sua maior flexibilidade (D'ALMEIDA, 1988a).

A celulose pode ser dividida em dois grupos: a celulose complexa e a celulose pura, o primeiro compreende as fibras de celulose vinculadas em uma matriz de outros biopolímeros estruturais, principalmente hemicelulose e lignina; já no grupo da celulose pura está a celulose bacteriana (LYND, 2002; DONINI *et al.*, 2010).

2.2.2 Lignina

De acordo com Saliba *et al.* (2000), a lignina é um polímero derivado de unidades fenilpropanóides denominadas C_6C_3 ou, simplesmente, unidades C_9 , repetidas de forma irregular, que têm sua origem na polimerização desidrogenativa do álcool coniferílico.

A lignina pode ser definida como um material polifenólico decorrente da polimerização desidrogenativa enzimática de três precursores primários: álcool trans-coniferílico, álcool trans-sinapílico e álcool trans-para-cumárico (ANDRADE, 2006).

Do ponto de vista morfológico a lignina é uma substância amorfa localizada na lamela média composta, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (KLOCK; ANDRADE, 2005).

A quantificação da presença da lignina é importante na análise da madeira e na caracterização da polpa celulósica, pois sua presença está associada ao rendimento, branqueamento e alvura da polpa celulósica (D'ALMEIDA, 1988a; ANDRADE, 2010; KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

2.2.3 Extrativos

Os extrativos são substâncias que compreendem 5 a 20% da massa total da madeira, a quantificação de sua presença varia com as diferentes espécies. Estes são geralmente componentes responsáveis por prover características organolépticas a madeira, como cor, cheiro e gosto.

Os extrativos ocorrem na casca, folhas, acículas, flores, frutos e sementes, quase sempre as quantidades nessas partes da árvore são proporcionalmente maiores que na madeira (KLOCK; ANDRADE, 2005).

No processo de fabricação da pasta celulósica a presença de uma quantidade elevada de extrativos pode dificultar o processo, bem como, incorporar características indesejadas a polpa celulósica. A redução no rendimento, o aumento no consumo de reagentes, a inibição da reação de deslignificação, a corrosão dos equipamentos, a redução na qualidade da polpa celulósica e a maior dificuldade na recuperação do licor de cozimento, são problemas que podem ser ocasionados devido à presença de elevada quantidade de extrativos na madeira (D'ALMEIDA, 1988a).

2.2.4 Material inorgânico

São compostos constituídos principalmente de sulfatos, fosfatos, oxalatos, carbonatos, silicatos de cálcio, potássio e magnésio (D'ALMEIDA, 1988a).

Comumente os compostos inorgânicos estão combinados com substâncias orgânicas, e são considerados essenciais para o metabolismo da planta (D'ALMEIDA, 1988a; SILVA, 2010).

2.3 PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

A produção da primeira folha de papel é atribuída a Ts'ai Lun, um oficial da corte imperial que percebeu que a maceração de fibras baratas (trapos, redes de pesca e bambu) criaria uma polpa, a qual poderia ser utilizada como suporte às anotações e poderia suceder a utilização da seda. Como prêmio por sua grandiosa descoberta recebeu o título de marques de Long-T'au (DUEÑAS, 1997).

Durante a dinastia chinesa Han (200 a.C.), florescia na China o interesse pelas artes, literatura e trabalho industrial; esse interesse acarretou no início da produção de escritos, os quais poderiam ser denominados como livros (DUEÑAS, 1997).

2.3.1 Processo Kraft

O processo Kraft é o mais utilizado para a polpação química no Brasil, seu objetivo é remover a lignina e consequentemente obter fibras celulósicas individualizadas com alto rendimento e propriedades adequadas. O fato de se retirar a lignina da composição é decorrente do princípio que esta comporta-se como uma substância cimentada entre as fibras da madeira (GOMIDE, 1982). A degradação da lignina, resulta em cavacos macios e facilmente desfibráveis (GOMIDE; GOMES, 2015).

O Kraft compreende o processo químico mais utilizado para a deslignificação da madeira. Este originou-se com base no processo soda pela introdução de sulfeto de sódio, o qual possibilitou diminuir a carga alcalina e melhorar as características da celulose (JERÔNIMO; FOELKEL; FRIZZO, 2000).

A presença do sulfeto de sódio no licor de cozimento Kraft acelera a deslignificação, possibilitando a exposição dos cavacos a uma menor concentração de álcali (GOMIDE; GOMES, 2015).

Moura, Foelkel e Frizzo (2012) explicam que o processo de polpação Kraft utiliza uma solução quente (cerca de 170°C), rica em hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), para a deslignificação da madeira.

Uma das características principais do processo Kraft é a produção de polpas com alta qualidade da celulose obtida (CARASCHI *et al.*, [200-]).

As principais qualidades do processo Kraft: (1) alta resistência da polpa; (2) adaptabilidade do processo a praticamente todos os tipos de madeira; (3) recuperação eficiente dos produtos químicos utilizados no cozimento da madeira; (4) produção de polpa de adequada branqueabilidade (GOMIDE; GOMES, 2015).

De acordo com Colodette e Gomes (2015), as reações que ocorrem durante o cozimento resultam na degradação dos carboidratos e da lignina.

A qualidade da polpa celulósica é comumente avaliada pelo teor de lignina residual (número Kappa), grau de degradação dos carboidratos (viscosidade) e propriedades físico-mecânicas.

2.3.2 Branqueamento da polpa celulósica

O branqueamento é um processo químico que tem por objetivo melhorar a alvura e a limpeza da polpa celulósica, tornando-a adequada para diversas aplicações (COLODETTE; SANTOS, 2015).

D'Almeida (1988b) define o branqueamento como um tratamento físico-químico o qual têm como objetivo melhorar as propriedades da pasta celulósica a ele submetida.

Os estágios de branqueamento têm diferentes objetivos. Colodette e Santos (2015) explicam que o dióxido de cloro e o peróxido de hidrogênio têm a função de oxidar, descolorir e solubilizar a lignina.

O dióxido de cloro têm por principal característica a sua eficiência e seleção na remoção de feixes de fibras, porém, o mesmo requer produção no local de uso, além de propiciar a formação de organoclorados e apresentar alto custo. Já o peróxido de hidrogênio é ineficiente na remoção de feixes de fibra e pode acarretar perdas na resistência da polpa se utilizado incorretamente, entretanto é de baixo custo, recuperável e seu efluente é livre de cloro (COLODETTE; SANTOS, 2015).

As alterações na tonalidade das polpas celulósicas são visíveis a cada etapa de branqueamento realizada, nas quais a modificação da matiz é destacada quando comparada às etapas anteriores.

2.3.2.1 Histórico do branqueamento

O primeiro processo de branqueamento de expressiva quantidade de fibras surgiu na Europa em meados do século XVII, e este consistia em submeter as fibras a uma exposição prolongada à luz solar, em presença de substâncias alcalinas, como as cinzas de madeira (D'ALMEIDA, 1988b).

Dueñas (1997) explica que somente nos anos finais do século XVIII, quando já se dispunha do cloro e do hipoclorito, o branqueamento solar foi repensado, e iniciou-se então a utilização destes compostos no branqueamento de fibras e trapos.

A partir do século XX houveram rápidas evoluções nas tecnologias de branqueamento, como o branqueamento em múltiplos estágios, e posteriormente implantando a este o uso do cloro elementar, o qual reduzia os custos de produção da polpa branqueada (DUEÑAS, 1997; COLODETTE; SANTOS, 2015).

A crescente preocupação ambiental e a descoberta do dióxido de cloro como agente branqueador colaborou para que na década de 1950 fosse desenvolvido a sequência CEDED (cloro → extração alcalina → dióxido de cloro → extração alcalina → dióxido de cloro). A utilização dessa sequência possibilitou a produção de polpas branqueadas com alta alvura e com mínima perda de resistência da fibra (COLODETTE; SANTOS, 2015).

Atualmente inúmeros reagentes (dióxido de cloro e peróxidos) e sequências de branqueamento são conhecidas e utilizadas, todas utilizam a premissa da não utilização do cloro elementar (ECF = *Elemental Chlorine Free*), o que acarretou na melhoria da qualidade dos efluentes de branqueamento. Ainda outros processos são continuamente desenvolvidos e nos dias de hoje estes tem a intenção da não utilização de compostos a base de cloro (TCF = *Totally Chlorine Free*), utilizando então reagentes como o ozônio, oxigênio, peróxido de hidrogênio e peróxidos (COLODETTE; SANTOS, 2015).

2.3.2.2 Qualidade e eficiência do branqueamento

Os parâmetros usuais que medem a eficiência do branqueamento são as propriedades ópticas da polpa e do papel (alvura, brancura, opacidade e estabilidade de alvura), relacionadas com a absorção ou reflexão da luz (D'ALMEIDA, 1988b).

O teor de lignina residual é usado para avaliar a intensidade de deslignificação no estágio pré-branqueamento, e indicar a quantidade de reagentes que será necessária nos estágios posteriores (D'ALMEIDA, 1988b).

O número Kappa e o número de permanganato, são parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da polpa no decorrer do branqueamento (D'ALMEIDA, 1988b; COLODETTE; SANTOS, 2015).

A melhoria da alvura e limpeza da polpa celulósica é alcançada através da remoção e, ou, modificação de grupos cromóforos e leucocromóforos presentes na polpa, minimizando-se a danificação química e mecânica da fibra, a perda de rendimento, o custo, o impacto ambiental e a oxidação dos carboidratos (COLODETTE; SANTOS, 2015).

2.3.3 Processo de refinação

A refinação é um processo mecânico em que as fibras são separadas e de certa maneira fibriladas, cortadas e hidratadas, acarretando em melhorias na resistência mecânica e na alvura (DUEÑAS, 1997). Este antecede o envio das fibras para a máquina de papel.

Segundo Andrade (2006), durante o processo de refinação ocorrem modificações importantes na estrutura da polpa, como: aumento da flexibilidade, redução da sua dimensão e a fibrilação.

Com o aumento da refinação ocorre a diminuição da drenabilidade da polpa celulósica, levando a melhoria de determinadas propriedades de resistência do papel, entre elas a tração, estouro e rigidez, com exceção da propriedade do rasgo que após um ligeiro aumento decresce (ANDRADE, 2006).

Dueñas (1997) ressalta que com a refinação as fibras aumentam a sua flexibilidade com a fibrilação, assim podem se entrelaçar e formar uma polpa e posteriormente papel, com melhores características de qualidade.

De acordo com Dueñas (1997) a temperatura e a consistência da polpa estão entre os fatores que afetam o processo de refinação.

A polpa celulósica refinada, ao contrário da não refinada, é plástica, mole e possui a capacidade de se distribuir sobre a tela da máquina numa camada densa dificultando a desidratação. A folha de papel formada pela massa refinada, possui maior resistência, menor porosidade e maior transparência (KLOCK; ANDRADE; HERNANDEZ, 2013).

2.3.4 Produção de Papel

O papel é uma camada delgada composta por elementos fibrosos orientados aleatoriamente e unidos por ligações inter e intrafibras por meio de ligações de hidrogênio (ANDRADE, 2010).

Diversas características das fibras de celulose satisfazem comumente os requisitos para a fabricação do papel, como: alta resistência a tensões, flexibilidade, insolubilidade em água, capacidade de absorver aditivos, estabilidade química, ausência de cor (DUEÑAS, 1997). D'Almeida (1988b) cita que o comprimento médio da fibra, largura da fibra, espessura da parede celular e largura do lúmen são parâmetros considerados na seleção de fibras para o papel.

Contudo, outros inúmeros fatores interferem na produção do papel, como a velocidade de remoção da água na folha, as condições de secagem, inclusão de aditivos, refinação, presença cátions e ânions e pH (D'ALMEIDA, 1988b).

Apesar da diversidade de influências, as quais podem acarretar em benefícios ou não ao papel, os processos envolvidos na sua concepção são geralmente os mesmos: formação, drenagem, consolidação e secagem (ANDRADE, 2010).

Os fatores do processo de fabricação do papel geralmente diferem-se apenas quando é desejado reduzir ao mínimo as propriedades indesejadas. A adição de colas é útil na redução da absorção de água; alguns aditivos melhoram a alvura, opacidade, a absorção de tintas e a textura; os revestimentos interferem na qualidade do papel, sobretudo em relação a impressão (CASEY, 1991).

No processo de formação da folha do papel quando as fibras úmidas se unem, as ligações acontecem através de atração polar entre as moléculas de água e os grupos hidroxila que estão na superfície das fibras de celulose (DUEÑAS, 1997).

A hidrosopicidade e a diferença de cargas elétricas entre as fibras são características necessárias para estimular a ligação entre elas (DUEÑAS, 1997).

As propriedades do papel são comumente modificadas por fatores como: comprimento médio das fibras, espessura da parede celular das fibras, formação e estrutura da folha e resistência individual das fibras (KLOCK, 2015).

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 MATERIAL

3.1.1 Espécie estudada

As amostras de madeira utilizadas nesse estudo, são provenientes de áreas de plantios florestais localizados no Estado do Rio Grande do Sul, nas cidades de São Gabriel e Santana do Livramento.

As amostras de cada árvore foram coletadas de dois discos, extraídos a 30% do diâmetro da altura do peito (DAP).

O clima no Estado do Rio Grande do Sul conforme a classificação climática de Köppen, Cfa e Cfb, úmido em todas as estações do ano, verão quente e moderadamente quente. O Cfa predomina na maior parte do Estado e o Cfb encontra-se nas partes mais elevadas da Serra do Nordeste, Planalto e Serra do Sudeste (KUINCHTNER; BURIOL, 2011).

A confecção dos cavacos ocorreu após a seleção das amostras, as quais foram escolhidas por não apresentarem visualmente a existência de lenhos de reação, nós, desvios de grã e bolsas de resina.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Determinação das características da madeira

3.2.1.1 Características químicas da madeira

A realização das análises ocorreu em triplicata para cada tratamento (espécie e idade), estas seguiram as recomendações das normas da TAPPI – *Technical Association of Pulp and Paper Industry* (TABELA 1).

TABELA 1 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA

NORMAS TÉCNICAS UTILIZADAS	
DETERMINAÇÕES	NORMA
Preparação da madeira para análise	TAPPI T 264 cm-07
Teor de lignina	TAPPI T 222 om-11
Teor de extrativos totais	TAPPI T 204 cm-97
Teor de material inorgânico (cinzas)	TAPPI T 211 om-02

FONTE: O autor (2015).

Para a realização da determinação das características químicas da madeira, utilizou-se aproximadamente 0,2 Kg de cavacos, os quais foram convertidos em serragem e na sequência classificados em peneiras para posteriormente serem acondicionados em ambiente climatizado onde a umidade relativa do ar foi controlada em $50 \pm 2\%$ e a temperatura entre $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

O teor de extrativos em etanol:tolueno foi determinado por meio de extrações de 6 horas em etanol:tolueno ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}:\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$ - 1:2, v/v). Este procedimento foi realizado por meio do extrator soxhlet.

Posteriormente o teor em solventes foi realizado utilizando as amostras provenientes das extrações em etanol:tolueno, o procedimento realizado segue o modelo anterior, contudo o solvente utilizado é o etanol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$). Para a determinação do teor de extrativos totais foi utilizado as amostras provenientes da extração em solventes, essa etapa compreendeu a inserção das amostras em água (H_2O) à 100°C durante 1 hora.

Após a remoção dos extrativos determinou-se o teor de lignina, o qual foi obtido degradando-se os polissacarídeos em meio ácido. Para este procedimento foi utilizado ácido sulfúrico (H_2SO_4) a concentração de 98%.

A quantização dos componentes inorgânicos da madeira foi realizada por meio da combustão do material, em mufla a $525 \pm 25^\circ\text{C}$ por 3 horas.

3.2.1.2 Características físicas da madeira

Para cada tratamento (idade) utilizou-se aproximadamente 1 Kg de cavacos de madeira e os ensaios foram realizados em triplicata.

A determinação da densidade básica foi realizada através da obtenção do volume saturado e a massa seca em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) dos cavacos. O volume saturado foi determinado por meio do método da pesagem, o qual analisa o volume de água, em centímetros cúbicos deslocado pela imersão do conjunto de cavacos, o qual será igual ao seu peso em gramas. Esta metodologia baseia-se na proximidade da densidade da água a 1 g/cm^3 a 20°C . A umidade foi obtida pelo método gravimétrico, utilizando estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$.

A densidade básica e a umidade foram obtidas realizando os procedimentos descritos na norma T 258 om-94 (TAPPI, 2004e).

3.2.2 Obtenção e caracterização da polpa celulósica

Os cavacos destinados ao processo para a obtenção da polpa celulósica foram classificados visualmente, procurando excluir os de tamanho discrepante da média, pois estes poderiam acarretar em problemas de impregnação, redução do rendimento e variação na qualidade da polpa celulósica.

Para a obtenção da polpa celulósica foi utilizado um digestor rotativo de aço inoxidável, o qual é composto internamente por quatro capsulas. O digestor utilizado possui um sistema de controle automático do tempo e da temperatura, sendo este aquecido eletricamente.

Os parâmetros de controle (TABELA 2) foram estabelecidos para a realização do processo de obtenção da polpa celulósica, mediante o levantamento das condições comumente utilizadas em unidades industriais.

TABELA 2 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO PROCESSO DE OBTENÇÃO DA POLPA CELULÓSICA

PARÂMETRO DE CONTROLE	CONDIÇÃO
Quantidade de cavacos (base massa seca) (Kg)	0,18
Temperatura máxima (°C)	170
Álcali ativo (%)	20
Fator H	1100
Sulfidez (%)	25
Hidro modulo (relação licor-madeira)	4 : 1

FONTE: O autor (2015).

A preparação e caracterização do licor branco foi realizada seguindo as recomendações da Norma T 624 cm-00 (TAPPI, 2004f).

A avaliação do teor de sólidos de cada um dos processos foi realizada por meio da determinação gravimétrica, seguindo as recomendações da Norma T 650 om-89 (TAPPI, 2004g).

As amostras após saírem do digestor foram lavadas e centrifugadas, calculando-se posteriormente o seu rendimento bruto foi obtido por meio do método gravimétrico em estufa à $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$. O material já desagregado e lavado, seguiu para o desfibrador de discos, tipo Bauer, objetivando a completa remoção do licor negro residual.

Determinou-se o número Kappa por meio do processo de oxidação da lignina residual contida na polpa celulósica após uma reação de iodeto de potássio e permanganato de potássio em solução acidificada por ácido sulfúrico. Este procedimento foi realizado observando a Norma T 236 om-99 (TAPPI, 2004h).

Após a passagem pelo desfibrador de discos e a total retirada do licor negro residual, as amostras (polpa celulósica) foram centrifugadas com o objetivo de retirar o excesso de água e assim garantir a conservação da polpa celulósica. Em seguida, as mesmas foram acondicionadas por 72 horas em sacos plásticos a temperatura ambiente; este procedimento foi realizado com o objetivo de homogeneizar a umidade.

Após este período de tempo foram determinadas as umidades de cada amostra, por meio do método gravimétrico.

3.2.3 Processo de branqueamento da polpa celulósica

A polpa celulósica obtida foi dividida em duas partes com base em seu peso seco total. Metade da massa seca total foi destinada as etapas de branqueamento e o restante foi direcionado ao processo de refinação. Isso foi realizado com o objetivo de criar meios de comparação entre as propriedades do papel branqueado e o não - branqueado.

A sequência de branqueamento realizada foi D(EP)DP (dióxido de cloro → extração alcalina com peróxido de hidrogênio → dióxido de cloro → peróxido de hidrogênio).

Do mesmo modo que os parâmetros de controle, a definição da sequência de branqueamento baseou-se nos processos utilizados na indústria. Os parâmetros utilizados em cada fase do branqueamento da polpa celulósica estão descritos na TABELA 3.

TABELA 3 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO BRANQUEAMENTO DA POLPA CELULÓSICA

PARÂMETRO	ETAPA			
	DIÓXIDO DE CLORO	EXTRAÇÃO ALCALINA COM PEROXIDO DE HIDROGÊNIO	DIÓXIDO DE CLORO	PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO
ClO ₂ (%)	2	-	2	-
Temperatura (°C)	90	90	90	90
Tempo (min)	60	60	60	60
Consistência (%)	10	10	10	10
NaOH (%)	-	1,00	-	0,60
H ₂ O ₂ (%)	-	0,50	-	0,20
MgSO ₄ (%)	-	-	-	0,30
Tampão (Buffer)	V=ClO ₂	-	V=ClO ₂	-

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: ClO₂ - dióxido de cloro; NaOH - hidróxido de sódio; H₂O₂ - peróxido de hidrogênio; MgSO₄ - sulfato de magnésio; V=ClO₂ - volume (mL) correspondente ao utilizado com dióxido de cloro.

Após a realização da sequência de branqueamento, a polpa foi encaminhada para o processo de refinação, o qual foi executado seguindo os mesmos parâmetros utilizados para a polpa não branqueada (TABELA 4).

3.2.4 Processo de refinação da polpa celulósica

A refinação foi realizada seguindo as recomendações da Norma ISO 5264/3, utilizando um moinho tipo Jokro, a 150 rpm (ISO, 1979).

O processo de refinação consistiu em quatro variações no tempo, com o objetivo de observar o comportamento das fibras quanto as propriedades do papel final. Abaixo estão detalhados os parâmetros utilizados na etapa de refinação (TABELA 4).

TABELA 4 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NO PROCESSO DE REFINAÇÃO

PARAMÊTRO	CONDIÇÃO
Tempo (min)	variável (0, 15, 30 e 45)
Rotação (rpm)	150
Consistência (%)	6,0
pH	7,0
Temperatura (°C)	25 ± 5

FONTE: O autor (2015).

3.2.5 Produção e caracterização do papel

Foram produzidas folhas de papel com polpa celulósica refinada à 0, 15, 30 e 45 minutos, para os dois tratamentos (branqueado e não - branqueado). A polpa celulósica foi obtida a partir da madeira de *Eucalyptus dunnii* com diferentes idades (4, 6 e 7 anos), totalizando 24 tratamentos.

Para cada tratamento foram produzidas 7 folhas, utilizando-se a quantidade de polpa celulósica necessária para a confecção de folhas com 60 g/m². Para garantir a distribuição correta da massa de polpa celulósica em cada folha de papel foi utilizado o tanque de homogeneização.

As folhas foram confeccionadas utilizando uma estação formadora tipo Rapid-Köethen. Foram seguidas as recomendações da Norma T 205 sp-02 para esta confecção (TAPPI, 2004i), os parâmetros de controle empregados estão descritos na TABELA 5.

TABELA 5 - PARÂMETROS DE CONTROLE UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DAS FOLHAS DE PAPEL

PARÂMETRO	CONDIÇÃO
Gramatura objetiva (g/m ²)	60 ± 3
pH na formação	7,0
Temperatura de secagem (°C)	90
Pressão de secagem (vácuo) (kPa)	40
Umidade final (%)	8,0 ± 1

FONTE: O autor (2015).

O armazenamento das folhas produzidas, concebeu-se em ambiente climatizado seguindo as recomendações da Norma T 402 om-93, na qual a temperatura foi mantida em $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar à $50 \pm 2\%$, permanecendo um período de 96 horas (TAPPI, 2004j). Após a sua estabilização, as amostras foram encaminhadas para a realização dos testes ópticos, físicos e mecânicos.

Os procedimentos adotados para realizar as determinações das características do papel seguiram as recomendações da Norma TAPPI (TABELA 6).

TABELA 6 - PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NA REALIZAÇÃO DAS DETERMINAÇÕES DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, MECÂNICAS E ÓPTICAS DO PAPEL PRODUZIDO

DETERMINAÇÃO	NORMA
PROPRIEDADES FÍSICAS	
Umidade	TAPPI T 412 om-06
Gramatura	TAPPI T 410 om-02
Espessura	TAPPI T 411 om-10
Densidade aparente e volume aparente	TAPPI T 220 sp-10
PROPREDADES DE RESISTÊNCIA MECÂNICA	
Resistência a tração	TAPPI T 404 cm-92
Resistência ao arrebentamento (estouro)	TAPPI T 403 om-02
Resistencia ao rasgo	TAPPI T 414 om-98
PROPRIEDADES ÓPTICAS	
Alvura	TAPPI T 452 om-02
Opacidade	TAPPI T 519 om-02

FONTE: O autor (2015).

3.2.5.1 Propriedades físicas do papel

3.2.5.1.1 Umidade

A quantidade de água existente no papel é denominada umidade. Para a sua determinação, inicialmente pesou-se as amostras em balança analítica de precisão e em seguida as mesmas permaneceram em estufa ($103 \pm 2^{\circ}\text{C}$) até atingir peso constante (peso seco). A determinação ocorreu por diferença de massa.

3.2.5.1.2 Gramatura

Expressa a quantidade de massa do papel em gramas por metro quadrado (g/m^2). Nessa propriedade foi determinado a área dos corpos de prova e a sua massa foi obtida em balança analítica de precisão.

3.2.5.1.3 Espessura

A espessura dos papéis foi obtida utilizando-se um equipamento eletrônico específico para essa determinação, no qual é medida a distância entre as faces das folhas de papel quando uma determinada carga específica é aplicada.

3.2.5.1.4 Volume aparente e densidade aparente

O volume aparente expressa o quociente entre a espessura e a gramatura do papel e a densidade aparente representa o quociente entre a gramatura e a espessura do papel.

3.2.5.2 Propriedades mecânicas do papel

3.2.5.2.1 Resistência a tração

É a força máxima necessária para a ruptura de uma amostra de papel de uma determinada unidade de largura. O equipamento utilizado neste ensaio foi um dinamômetro, o qual fornece os dados em quilo newtons por metro (kN/m). O índice de tração (Nm/g) foi obtido através da relação entre a resistência à tração e a gramatura.

3.2.5.2.2 Resistência ao arrebentamento (estouro)

Esta é definida como a pressão necessária para produzir o rompimento do material, ao se aplicar uma pressão uniforme e crescente, transmitida por um diafragma elástico de área circular. Esta resistência é expressa em quilopascal (kPa) e para a sua determinação foi utilizado o equipamento Bursting Strength Tester.

3.2.5.2.3 Resistência ao rasgo

É o trabalho necessário para efetuar o rasgamento do papel por meio de uma distância fixa. Sua medida é expressa em milinewtons (mN). Esta determinação foi realizada por meio de um aparelho Pêndulo Elmendorf. Ao término do ensaio foi realizado o cálculo do índice de rasgo (mNm^2/g), o qual compreende a relação entre a resistência ao rasgo e a gramatura.

3.2.5.3 Propriedades ópticas do papel

As características ópticas do papel direcionam a sua utilização, papéis para a escrita ou impressão necessitam de elevada alvura, para permitir o maior contraste entre os tons.

Particularidades comerciais podem também definir as propriedades necessárias do papel, um papel opaco pode ser ideal na maioria dos usos, contudo pode ser indesejado em outros, como em papéis finos para embalagens de presentes.

3.2.5.3.1 Alvura

É definida como a quantidade de luz refletida por um corpo de prova após a incidência de um feixe de luz monocromático ($\lambda = 457 \text{ }\mu\text{m}$). Esta é expressa em porcentagem (%).

3.2.5.3.2 Opacidade

A opacidade é a propriedade relacionada a quantidade de energia na forma de luz, transmitida através de um meio. Um papel perfeitamente opaco não permite a passagem de luz visível. Esta determinação é expressa em porcentagem (%).

3.2.6 Processamento de dados

Os dados obtidos na análise das propriedades físicas, mecânicas e ópticas do papel foram submetidos as seguintes análises estatísticas: teste de Grubbs para avaliar a ocorrência de *outliers*; teste de Kolmogorov-Smirnov para análise da normalidade dos dados; teste de Bartlett para testar a homogeneidade das variâncias; comprovada a homogeneidade das variâncias foi aplicado a Análise de Variância (ANOVA); havendo rejeição da hipótese de igualdade pela ANOVA, as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey. Todos os testes foram aplicados ao nível de 95% de significância, utilizando para o processamento dos dados o pacote estatístico Statgraphics XVI.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DAS MADEIRAS

A composição química da madeira comumente influencia a sua utilização, podendo restringir o seu emprego ou interferindo negativamente nos processos envolvidos. Deste modo, conhecer as características químicas da madeira, nos permite a avaliação da viabilidade de uso e justificar possíveis interferências.

A TABELA 7 apresenta as características químicas encontradas para as diferentes idades da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden.

TABELA 7 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* COM 4, 6 E 7 ANOS DE IDADE

IDADE (anos)	EXTRATIVOS TOTAIS (%)		LIGNINA (%)		CINZAS (%)	
	x	σ	x	σ	x	σ
4	2,60	0,10	24,16	0,03	0,58	0,01
6	2,61	0,15	26,42	0,37	0,54	0,01
7	3,73	0,74	24,81	0,25	0,59	0,01

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: x – média aritmética; σ – desvio padrão.

Ao analisar as características químicas apresentadas nota-se um aumento nos valores médios do teor de extrativos totais, os resultados são semelhantes aos encontrados por outros autores: Cit (2007) e Pereira *et al.* (2000). O teor de extrativos totais e o teor de lignina estão relacionados com a qualidade da madeira para a produção de celulose, pois afetam significativamente o rendimento do processo de polpação. A interferência dos compostos inorgânicos (cinzas) é sobretudo na dificuldade da recuperação dos compostos utilizados no processo de polpação química (D'ALMEIDA, 1988a; GOMIDE; FANTUZZI NETO; REGAZZI, 2010).

Os resultados observados corroboram para a utilização da espécie na produção de celulose, estes são semelhantes aos encontrados por outros pesquisadores: Guimarães *et al.* (2013), Pereira *et al.* (2000), Francisco, Curvelo [20-]; Bassa, Silva Junior e Sacon (2007).

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DAS MADEIRAS

D'Almeida (1988a) e Andrade (2007) explicam que no processo de obtenção da polpa celulósica, algumas características da madeira são imprescindíveis para a definição do processo e seus componentes, dentre estas características estão a umidade e a densidade.

A TABELA 8 demonstra um aumento nos valores médios de densidade, ocasionado pelo crescimento em idade. Pereira *et al.* (1986, 2000), Bassa, Silva Junior e Sacon (2007), encontraram valores de densidade semelhantes aos apresentados.

TABELA 8 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii* COM 4, 6 E 7 ANOS DE IDADE

IDADE (anos)	UMIDADE (%)		DENSIDADE (Kg/m ³)	
	x	σ	x	σ
4	12,20	0,03	459,03	14,2
6	13,34	0,02	504,15	5,2
7	13,15	0,05	563,30	37,3

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: x – média aritmética; σ – desvio padrão.

De acordo com Gomide, Fantuzzi Neto e Regazzi (2010), a densidade básica da madeira não afeta significativamente o rendimento da polpação, mas sim o consumo de madeira para produção de celulose.

O material estudado não apresentou expressiva variação nos valores médios observados de umidade, estes mostraram-se inferiores ao encontrados para madeiras recém cortadas. Esta condição pode ser explicada pelo fato dos cavacos utilizados terem permanecidos armazenados em câmara climática por um período de tempo.

4.3 CARACTERÍSTICAS DO LICOR NEGRO RESIDUAL

Os valores médios do teor de sólidos variaram entre 15,1 a 17,5% (7 e 6 anos). Os resultados apresentados (TABELA 10) mostram-se próximos aos encontrados por Queiroz *et al.* (2004) e Castro (2009), para as mesmas idades.

TABELA 9 - TEOR DE SÓLIDOS DO LICOR NEGRO RESIDUAL

IDADE (anos)	TEOR DE SÓLIDOS (%)	
	x	σ
4	16,3	0,48
6	17,5	0,49
7	15,1	1,90

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: x – média aritmética; σ – desvio padrão.

4.4 CARACTERÍSTICAS DA POLPA CELULÓSICA

O rendimento não sofreu evidente influência da densidade, sendo possível observar aos 6 anos de idade um rendimento maior em relação as outras idades, está também exposto o menor número Kappa (9,6) (TABELA 10).

TABELA 10 - CARACTERÍSTICAS DAS POLPAS CELULÓSICAS OBTIDAS A PARTIR DA MADEIRA DE *Eucalyptus dunnii*

IDADE (anos)	RENDIMENTO (%)		NÚMERO KAPPA	
	x	σ	x	σ
4	48,9	0,48	15,4	0,34
6	51,7	1,39	9,6	2,36
7	49,0	1,52	11,4	1,14

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: x – média aritmética; σ – desvio padrão.

Os valores observados são próximos aos encontrados por outros pesquisadores como Ferreira *et al.* (1997); Bassa, Silva Junior e Sacon (2007).

4.5 PROPRIEDADES DO PAPEL

O papel é geralmente comercializado com base em suas especificações, objetivando sua utilização final. As propriedades do papel são resultantes de interações de um grande número de fatores, como: morfologia das fibras, processo de obtenção, branqueamento, tratamento mecânico (refinação), formação, prensagem e secagem das folhas (D'ALMEIDA, 1988b).

As diferentes idades de corte das árvores foram propostas para avaliar uma possível relação com a resistência mecânica do papel, devido ao aumento da densidade da madeira com a idade. Já definição dos tempos de refinação da polpa celulósica teve o intuito de avaliar as modificações nas propriedades do papel decorrentes da fibrilação das fibras.

Para avaliar o comportamento das fibras decorrentes do branqueamento, foram confeccionados papéis não – branqueados e branqueados.

4.5.1 Propriedades físicas do papel

Na avaliação das propriedades físicas, a densidade aparente é importante, pois expressa a relação entre a gramatura e espessura do papel.

4.5.1.1 Gramatura

Em todos os tratamentos, os papéis analisados demonstraram que os resultados para a propriedade física gramatura foram valores dentro do objetivo ($60 \pm 3 \text{ g/cm}^3$).

4.5.1.2 Densidade aparente

Na TABELA 11 estão apresentados os valores médios para a propriedade física densidade aparente.

Os valores variaram de 0,37 a 0,61 g/cm³ (tratamento 5 e 4). Pode-se destacar que os tratamentos tanto branqueados quanto não – branqueados sem refinação apresentaram os menores valores.

TABELA 11 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	TIPO DE PAPEL	REFINAÇÃO (min.)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
4	4	Não-branqueado	45	0,61 _{0,74} a
3	4	Não-branqueado	30	0,58 _{0,77} a
16	4	Branqueado	45	0,58 _{0,00} b
2	4	Não-branqueado	15	0,57 _{0,97} b
8	6	Não-branqueado	45	0,56 _{0,97} bc
15	4	Branqueado	30	0,56 _{0,99} c
7	6	Não-branqueado	30	0,55 _{0,81} d
12	7	Não-branqueado	45	0,55 _{1,00} d
20	6	Branqueado	45	0,53 _{1,03} de
14	4	Branqueado	15	0,53 _{1,57} ef
24	7	Branqueado	45	0,51 _{0,87} ef
19	6	Branqueado	30	0,51 _{0,87} f
23	7	Branqueado	30	0,51 _{1,39} f
11	7	Não-branqueado	30	0,51 _{1,65} f
6	6	Não-branqueado	15	0,51 _{0,88} g
10	7	Não-branqueado	15	0,50 _{1,10} gh
22	7	Branqueado	15	0,49 _{1,11} hi
18	6	Branqueado	15	0,49 _{1,44} ij
1	4	Não-branqueado	0	0,41 _{1,32} ijk
13	4	Branqueado	0	0,40 _{1,11} jk
21	7	Branqueado	0	0,39 _{1,39} k
9	7	Não-branqueado	0	0,39 _{1,39} l
17	6	Branqueado	0	0,37 _{1,20} l
5	6	Não-branqueado	0	0,37 _{1,22} m
F				771,14*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Para o fator idade explanado na TABELA 12, é notável a diferença apresentada pela idade 4 anos em relação a 6 e 7 anos, na qual a mesma resultou em maior densidade aparente.

TABELA 12 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR IDADE

IDADE (anos)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
4	0,53 _{14,05} a
6	0,49 _{14,87} b
7	0,48 _{11,15} b
F	6,09*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Em relação ao tipo de papel (TABELA 13), a realização do branqueamento não levou a obtenção de resultados estatisticamente significativos quando comparado ao não – branqueado. Os valores médios apresentados mostram que a relação entre a gramatura e a espessura do papel não foi afetada pela realização das etapas de branqueamento.

TABELA 13 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR TIPO DE PAPEL

TIPO DE PAPEL	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
Branqueado	0,49 _{13,09} a
Não-branqueado	0,51 _{14,83} a
F	2,02 ^{ns}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A utilização da refinação como pode ser vista na TABELA 14, gerou valores diferentes para todos os tempos (minutos) empregados, sendo que em 45 min foi possível observar a maior densidade aparente. O efeito na propriedade avaliada, pode ser explicado como resultado da melhor acomodação das fibras, com o aumento no tempo de refinação.

TABELA 14 - ANÁLISE FATORIAL DA DENSIDADE APARENTE PARA O FATOR REFINAÇÃO

REFINAÇÃO (min.)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
0	0,39 _{4,35} a
15	0,51 _{5,44} b
30	0,54 _{5,46} c
45	0,56 _{5,75} d
F	227,07*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.2 Propriedades mecânicas do papel

No direcionamento de utilização do papel, as propriedades mecânicas exercem grande influência, pois estas delimitam a sua faixa de empregabilidade.

Papéis para impressão devem possuir sobretudo grande resistência a tração, enquanto os utilizados em embalagens necessitam resistir também satisfatoriamente ao arrebentamento e ao rasgo, para conseguir suportar os esforços decorrentes da sua função de armazenagem.

4.5.2.1 Índice de tração

Os valores médios do índice de tração, estão apresentados na TABELA 15. A resistência a tração é influenciada por fatores como: a força individual e comprimento das fibras, ligações entre fibras, formação e estrutura da folha e refinação (FERREIRA, 2008, GOMES; ALVES, 2015; KLOCK, 2015).

A propriedade demonstrou valores entre 18,41 a 90,29 Nm/g (tratamento 17 e 4). Os papéis sem refinação de ambos os tipos apresentaram os menores índices, variando entre 18,41 a 34,89 Nm/g. A maior resistência dos papéis refinados pode ser justificada em consequência das melhores ligações fibra-fibra causada pela refinação.

TABELA 15 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	TIPO DE PAPEL	REFINAÇÃO (min.)	IT (Nm/g)
17	6	Branqueado	0	18,41 _{33,09} a
21	7	Branqueado	0	22,08 _{17,68} ab
13	4	Branqueado	0	26,72 _{4,10} ab
5	6	Não-branqueado	0	28,41 _{11,29} ab
9	7	Não-branqueado	0	32,74 _{11,28} ab
1	4	Não-branqueado	0	34,89 _{8,07} b
22	7	Branqueado	15	52,23 _{2,93} c
18	6	Branqueado	15	54,82 _{10,06} cd
24	7	Branqueado	45	55,83 _{4,68} cd
23	7	Branqueado	30	56,87 _{6,36} cd
10	7	Não-branqueado	15	61,71 _{5,69} cd
20	6	Branqueado	45	62,64 _{5,39} cd
14	4	Branqueado	15	64,41 _{7,01} cd
19	6	Branqueado	30	65,70 _{15,11} cde
16	4	Branqueado	45	66,67 _{4,07} cde
6	6	Não-branqueado	15	67,40 _{10,16} de
15	4	Branqueado	30	67,89 _{5,84} def
11	7	Não-branqueado	30	69,03 _{4,84} defg
2	4	Não-branqueado	15	79,71 _{9,73} efgh
3	4	Não-branqueado	30	82,29 _{10,75} fgh
8	6	Não-branqueado	45	83,35 _{9,35} gh
7	6	Não-branqueado	30	83,81 _{17,89} h
12	7	Não-branqueado	45	87,23 _{3,61} h
4	4	Não-branqueado	45	90,29 _{11,60} h
F				61,63*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A influência do fator idade (TABELA 16) não ocasionou a observação de resultados estatisticamente significativos para o índice de tração. Os valores apresentados revelam que a idade não interferiu na propriedade estudada.

TABELA 16 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR IDADE

IDADE (anos)	IT (Nm/g)
7	54,71 _{35,47} a
6	58,07 _{40,66} a
4	64,11 _{34,31} a
F	1,92 ^{ns}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Para o tipo de papel (TABELA 17), a realização do branqueamento contribuiu para a produção um papel com menor resistência à tração, quando comparado ao não - branqueado. A influência negativa do processo de branqueamento era aguardada como resultado da dissolução da lignina residual e o decréscimo do grau de polimerização da celulose e dos carboidratos que ocorre durante as etapas.

Gomes e Alves (2015), explicam que a diminuição do grau de polimerização da celulose impacta negativamente na resistência das fibras, pois afeta a sua integridade em alguma extensão.

TABELA 17 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL

TIPO DE PAPEL	IT (Nm/g)
Branqueado	51,19 _{35,20} a
Não - branqueado	66,74 _{34,18} b
F	17,17*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A realização de maiores tempos de refinação promoveu aumentos nos índices de tração (TABELA 18). Entre o tratamento 0 e 15 minutos, a refinação promoveu um acréscimo de 133% na propriedade analisada.

TABELA 18 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA O FATOR REFINAÇÃO

REFINAÇÃO (min.)	IT (Nm/g)
0	27,21 _{24,76} a
15	63,38 _{16,34} b
30	70,93 _{17,43} bc
45	74,33 _{19,39} c
F	109,69*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.2.2 Índice de Arrebetamento

Os valores médios apresentados para a propriedade índice de arrebetamento estão detalhados na TABELA 19. Os fatores que afetam a resistência ao arrebetamento (estouro) são: o comprimento das fibras, as ligações fibra-fibra, a formação da folha e a grau de refinação da polpa celulósica (FERREIRA, 2008; KLOCK, 2015).

Destaca-se que para ambos os tratamentos (branqueados e não – branqueados) os menores valores foram observados quando estes apresentaram-se sem refinação. Os valores para esta propriedade variaram de 1,57 a 7,51 kPam³/g (tratamento 17 e 4).

TABELA 19 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	TIPO DE PAPEL	REFINAÇÃO (min.)	IA (kPam ³ /g)
17	6	Branqueado	0	1,57 _{8,03} a
13	4	Branqueado	0	1,82 _{7,57} a
21	7	Branqueado	0	1,84 _{8,23} a
5	6	Não-branqueado	0	2,17 _{1,70} ab
9	7	Não-branqueado	0	2,67 _{4,94} b
1	4	Não-branqueado	0	2,88 _{7,41} b
18	6	Branqueado	15	4,17 _{6,65} c
22	7	Branqueado	15	4,38 _{6,61} cd
24	7	Branqueado	45	4,45 _{9,86} cde
19	6	Branqueado	30	4,79 _{0,75} cdef
23	7	Branqueado	30	4,85 _{14,78} cdefg
6	6	Não-branqueado	15	4,99 _{1,67} defgh
20	6	Branqueado	45	5,10 _{2,77} defghi
14	4	Branqueado	15	5,20 _{4,20} efghij
15	4	Branqueado	30	5,49 _{3,02} fghij
11	7	Não-branqueado	30	5,59 _{4,54} ghij
16	4	Branqueado	45	5,70 _{5,56} hijk
10	7	Não-branqueado	15	5,82 _{5,83} ijk
7	6	Não-branqueado	30	5,93 _{2,00} jkl
8	6	Não-branqueado	45	6,36 _{1,31} klm
12	7	Não-branqueado	45	6,68 _{7,79} lm
2	4	Não-branqueado	15	6,72 _{7,26} m
3	4	Não-branqueado	30	7,10 _{7,74} mn
4	4	Não-branqueado	45	7,51 _{6,72} n
F				149,45*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; IA – Índice de Arrebentamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

O fator idade (TABELA 20), demonstra uma diferença significativa entre 4 e 6 anos, onde observou-se o maior e o menor índice de arrebetamento, respectivamente.

TABELA 20 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA O FATOR IDADE

IDADE (anos)	IA (kPam ³ /g)
6	4,35 _{38,55} a
7	4,53 _{34,82} ab
4	5,34 _{34,70} b
F	3,88*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IA – Índice de Arrebetamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Em relação ao tipo de papel (TABELA 21), o papel não – branqueado demonstrou maior resistência ao arrebetamento quando comparado ao branqueado, evidenciando uma consequência negativa do branqueamento à propriedade analisada.

As hemiceluloses colaboram na hidratação das fibras, aumentando a sua capacidade de realizar ligações de hidrogênio. Durante o branqueamento, mesmo nos mais seletivos, parte das hemicelulose podem ser degradadas, impactando na diminuição da resistência das fibras (COLODETTE; GOMIDE; OLIVEIRA, 1981; GOMES; ALVES, 2015; KLOCK, 2015). O índice de arrebetamento é importante sobretudo em papéis de embalagem, onde esforços pontuais são mais observados.

TABELA 21 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL

TIPO DE PAPEL	IA (kPam ³ /g)
Branqueado	4,14 _{34,58} a
Não-branqueado	5,34 _{34,38} b
F	15,99*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IA – Índice de Arrebetamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Os valores do índice de arrebetamento para o fator refinação estão detalhados na TABELA 22. A propriedade apresentou variação de valores entre 2,16 a 5,97 kPam³/g (0 e 45 minutos de refinação).

É possível observar que o incremento na propriedade avaliada foi menor entre a refinação de 15 e 45 minutos.

TABELA 22 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE ARREBETAMENTO PARA O FATOR REFINAÇÃO

REFINAÇÃO (min.)	IA (kPam ³ /g)
0	2,16 _{23,19} a
15	5,21 _{17,65} b
30	5,63 _{15,32} bc
45	5,97 _{18,25} c
F	121,42*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IA – Índice de Arrebetamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.2.3 Índice de Rasgo

A TABELA 23 apresenta os valores médios verificados para o índice de rasgo. Essa resistência é influenciada pela morfologia da fibra, as variáveis que há afetam de modo positivo são a relação entre a espessura da parede celular e o diâmetro do traqueóide, seguido pelo comprimento do traqueóide; o índice de rasgo decresce com o decréscimo no comprimento médio da fibra (CAMPOS *et al.*, 2000; KLOCK, 2015).

Os valores médios da propriedade variaram entre 5,41 a 14,61 mNm³/g (tratamento 17 e 6). Os tratamentos sem refinação em ambos os tipos de papel apresentaram os menores valores.

TABELA 23 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RASGO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS E BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	TIPO DE PAPEL	REFINAÇÃO (min.)	IR (mNm ³ /g)
17	6	Branqueado	0	5,41 _{15,96} a
13	4	Branqueado	0	5,91 _{18,92} ab
21	7	Branqueado	0	6,86 _{7,19} abc
5	6	Não-branqueado	0	6,91 _{5,86} abc
9	7	Não-branqueado	0	7,91 _{6,92} abcd
1	4	Não-branqueado	0	8,61 _{15,70} bcd
14	4	Branqueado	15	9,05 _{10,02} cde
16	4	Branqueado	45	9,55 _{5,29} cdef
4	4	Não-branqueado	45	9,62 _{4,57} cdef
3	4	Não-branqueado	30	10,38 _{5,82} defg
2	4	Não-branqueado	15	10,41 _{7,47} defg
15	4	Branqueado	30	10,56 _{4,32} defgh
8	6	Não-branqueado	45	10,73 _{14,99} defghi
7	6	Não-branqueado	30	11,82 _{9,59} efghij
12	7	Não-branqueado	45	12,08 _{2,31} fghij
23	7	Branqueado	30	12,71 _{15,01} ghij
22	7	Branqueado	15	12,81 _{7,51} ghij
20	6	Branqueado	45	13,15 _{6,84} ghij
18	6	Branqueado	15	13,30 _{9,16} hij
11	7	Não-branqueado	30	13,36 _{7,98} hij
24	7	Branqueado	45	13,52 _{15,28} ij
10	7	Não-branqueado	15	13,60 _{9,06} ij
19	6	Branqueado	30	14,06 _{12,12} j
6	6	Não-branqueado	15	14,61 _{19,03} j
F				25,41*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Para o fator idade (TABELA 24), observou-se o menor índice de rasgo na idade 4 anos (9,26 mNm³/g), porém os papéis produzidos com madeira com 6 e 7 anos de idade mostraram-se estatisticamente semelhantes entre si.

TABELA 24 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR IDADE

IDADE (anos)	IR (mNm ³ /g)
4	9,26 _{17,55} a
6	11,25 _{30,97} b
7	11,61 _{23,79} b
F	8,57*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A realização das etapas de branqueamento não modificou significativamente o índice de rasgo (TABELA 25).

TABELA 25 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR TIPO DE PAPEL

TIPO DE PAPEL	IR (mNm ³ /g)
Branqueado	10,57 _{30,67} a
Não-branqueado	10,84 _{23,39} a
F	0,24 ^{ns}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

O processo de refinação observado na TABELA 26, resultou em valores semelhantes para a propriedade nos tempos empregados de 15, 30 e 45 minutos, apresentando resistência ao rasgo muito superior, sobretudo quando comparados ao 0 minutos de refinação.

Os resultados mostram uma alteração positiva na propriedade com a refinação, provavelmente em consequência do melhor entrelaçamento das fibras, entretanto como a resistência ao rasgo é dependente da morfologia da fibra, não houveram modificações significativas com o aumento do tempo de refino.

TABELA 26 - ANÁLISE FATORIAL DO ÍNDICE DE RASGO PARA O FATOR REFINAÇÃO

REFINAÇÃO (min.)	IR (mNm ³ /g)
0	6,93 _{19,64} a
45	11,44 _{16,87} b
30	12,15 _{14,84} b
15	12,30 _{19,37} b
F	53,43*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.3 Propriedades ópticas do papel

A destinação do papel define a especificidade das suas características ópticas, comumente um papel com elevada alvura e opacidade é desejado pela indústria, entretanto estes requisitos divergem entre os papéis especiais.

A alvura e a opacidade de uma folha de papel, dependem das características da fibra, do grau de branqueamento, gramatura, grau de refinação e espessura do papel (D'ALMEIDA, 1988b; ROSSI, [20--]).

4.5.3.1 Alvura

A alvura é o valor da refletância de um espécime (folhas de polpa, papel ou cartão). A coloração marrom observada nas polpas não - branqueadas é decorrente da absorção significativa da luz através dos seus grupos cromóforos.

Durante o processo de branqueamento, a quantidade de grupos cromóforos diminui gradativamente à medida que o branqueamento avança em direção aos estágios finais, aumentando assim a quantidade de luz refletida e a alvura da polpa (GOMES; SANTOS; COLODETTE, 2015).

4.5.3.1.1 Papel não – branqueado

Para a propriedade óptica alvura, os resultados médios observados para os papéis não - branqueados estão descritos na TABELA 27. A propriedade variou de 38,04 a 43,10% (tratamento 4 e 5).

TABELA 27 – VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
4	4	45	38,04 _{1,59} a
8	6	45	39,14 _{0,97} b
3	4	30	39,40 _{1,18} b
12	7	45	39,44 _{0,98} b
7	6	30	39,86 _{0,81} bc
2	4	15	40,06 _{0,80} bc
11	7	30	40,44 _{0,51} cd
6	6	15	40,56 _{1,16} cd
10	7	15	41,20 _{0,49} de
9	7	0	42,10 _{1,40} ef
1	4	0	42,24 _{1,66} fg
5	6	0	43,10 _{0,49} g
F			56,90*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

O fator idade (TABELA 28) não apresentou alterações estatisticamente significativas para a propriedade estudada.

TABELA 28 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS

IDADE (anos)	ALVURA (%)
4	39,94 _{4,09} a
7	40,67 _{3,85} a
6	40,80 _{2,60} a
F	2,06 ^{ns}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A apreciação dos resultados para fator refinação (TABELA 29) permite ressaltar que a realização desta acarretou em uma redução da alvura, isso ocorreu em decorrência do melhor arranjo entre fibras, o que torna as folhas mais densas e diminui a refletância da luz.

TABELA 29 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS

REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
45	38,87 _{1,60} a
30	39,90 _{1,43} b
15	40,61 _{1,37} c
0	42,48 _{1,95} d
F	82,88*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.3.1.2 Papel branqueado

A TABELA 30 apresenta os valores médios de alvura para os papéis branqueados. Os valores variaram entre 77,23 a 88,60% (tratamento 15 e 17). A elevada alvura é uma característica intrínseca ao papel branqueado, sendo o objetivo da realização do processo de branqueamento.

Os resultados demonstram que as etapas de branqueamento foram efetivas em seu objetivo, produzindo papéis com elevada alvura sem a inclusão de aditivos.

TABELA 30 - VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
15	4	30	77,23 _{0,41} a
16	4	45	77,86 _{1,91} a
14	4	15	78,56 _{0,57} a
13	4	0	82,16 _{1,39} b
24	7	45	84,08 _{0,49} c
22	7	15	84,66 _{0,25} cd
23	7	30	85,02 _{0,15} cde
20	6	45	85,86 _{0,18} def
21	7	0	86,44 _{1,35} ef
19	6	30	86,50 _{0,12} ef
18	6	15	86,94 _{0,43} f
17	6	0	88,60 _{0,41} g
F			143,73*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Em relação ao fator idade (TABELA 31), os valores observados demonstram uma variação da propriedade.

O maior percentual de alvura foi encontrado na idade de 6 anos (86,98%), já o menor com 4 anos (79,04%). Esses resultados podem ser explicados pela diferença no teor de lignina residual das polpas celulósicas antes do branqueamento, onde o menor número Kappa foi encontrado com 6 anos (9,6) e o maior com 4 anos (15,4).

TABELA 31 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS

IDADE (anos)	ALVURA (%)
4	79,04 _{2,75} a
7	85,05 _{1,25} b
6	86,98 _{1,23} c
F	144,46*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Os diferentes tempos de refinação (TABELA 32) não ocasionaram alterações significativas na alvura dos papéis branqueados. Analisando os valores médios é possível observar uma pequena redução daquela com o aumento da refinação; Rossi Filho (2005) explica que isso ocorre como consequência da melhor acomodação das fibras, devido a maior porção da luz incidente que penetra profundamente e é absorvida pela estrutura mais densa do papel mais refinado e assim uma menor quantidade de luz é refletida.

TABELA 32 - ANÁLISE FATORIAL DA ALVURA PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS

REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
45	82,60 _{4,41} a
30	83,32 _{4,87} a
15	83,39 _{4,40} a
0	85,73 _{3,40} a
F	2,16 ^{ns}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.3.2 Opacidade

4.5.3.2.1 Papel não – branqueado

Os dados de opacidade observados para os papéis não - branqueados estão descritos na TABELA 33. A propriedade opacidade apresentou valores médios variando entre 93,72 a 97,48% (tratamento 12 e 5).

TABELA 33 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
12	7	45	93,72 _{0,44} a
11	7	30	93,88 _{0,22} a
10	7	15	94,72 _{0,14} b
4	4	45	94,86 _{0,34} bc
3	4	30	95,32 _{0,24} cd
8	6	45	95,54 _{0,37} d
2	4	15	95,64 _{0,19} de
7	6	30	95,74 _{0,16} de
9	7	0	96,08 _{0,09} ef
6	6	15	96,32 _{0,09} f
1	4	0	97,26 _{0,14} g
5	6	0	97,48 _{0,22} g
F			127,38*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Em relação a idade (TABELA 34), é possível ressaltar uma diferença entre a idade 7 anos em relação a 4 e 6 anos, na qual a primeira apresentou a menor opacidade.

TABELA 34 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS

IDADE (anos)	OPACIDADE (%)
7	94,60 _{1,04} a
4	95,77 _{0,99} b
6	96,27 _{0,83} b
F	17,53*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A análise da influência dos tempos de refinação na opacidade, disponível na TABELA 35, permite destacar que o aumento no tempo de refinação ocasionou um decréscimo na opacidade do papel. Essa redução pode ser explicada como resultado da melhor compactação das fibras, o que propicia uma maior permissibilidade a passagem dos raios de luz (ROSSI FILHO, 2005; BITTENCOURT, 2004). A propriedade variou entre 94,71% (45 min.) a 96,94% (0 min.).

TABELA 35 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS

REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
45	94,71 _{0,89} a
30	94,98 _{0,89} ab
15	95,56 _{0,72} b
0	96,94 _{0,67} c
F	25,46*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

4.5.3.2.2 Papel branqueado

A opacidade é importante nos papéis branqueados, pois contribui na melhoria do contraste entre as cores. A TABELA 36 apresenta os valores médios observados para essa propriedade. Os resultados médios de opacidade variaram entre 86,36 a 91,18% (tratamento 24 e 13).

TABELA 36 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS

TRAT.	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
24	7	45	86,36 _{0,35} a
23	7	30	87,00 _{0,59} ab
20	6	45	87,18 _{0,15} b
22	7	15	87,58 _{0,25} bc
16	4	45	87,90 _{0,48} cd
19	6	30	88,00 _{0,28} cde
15	4	30	88,42 _{0,25} de
18	6	15	88,66 _{0,20} ef
14	4	15	89,32 _{0,42} fg
21	7	0	89,48 _{0,40} g
17	6	0	91,12 _{0,25} h
13	4	0	91,18 _{0,30} h
F			123,68*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Trat. – Tratamento; Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

Considerando o fator idade (TABELA 37) é possível destacar que a amostra com a maior idade (7 anos) apresentou a menor opacidade, já com 4 e 6 anos mostraram-se mais opacas.

TABELA 37 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR IDADE, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS

IDADE (anos)	OPACIDADE (%)
7	87,61 _{1,42} a
6	88,74 _{1,71} b
4	89,21 _{1,48} b
F	7,28*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

A variação da propriedade para o fator refinação foi entre 87,15% (45 min.) a 90,59% (0 min.). Os valores apresentados na TABELA 38 permitem observar a redução da opacidade com aumento do tempo de refinação.

TABELA 38 - ANÁLISE FATORIAL DA OPACIDADE PARA O FATOR REFINAÇÃO, DOS PAPÉIS BRANQUEADOS

REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
45	87,15 _{0,82} a
30	87,81 _{0,79} ab
15	88,52 _{0,89} b
0	90,59 _{0,95} c
F	57,11*

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%); Médias seguidas de uma mesma letra em uma mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade; * – significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} – não significativo.

5 CONCLUSÃO

A análise das características físicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maiden permitiu comprovar um incremento da densidade com o aumento idade. As propriedades químicas mostraram-se adequadas para a produção de celulose e papel.

Por meio da observação dos valores médios de rendimento e densidade, não foi possível estabelecer uma relação entre eles. O maior rendimento bruto e o menor número Kappa foi obtido no cozimento aos 6 anos.

A sequência de branqueamento realizada mostrou-se adequada em seu objetivo, elevando a alvura sem reduzir drasticamente as propriedades mecânicas.

O processo de refinação modificou as propriedades mecânicas do papel, mostrando-se efetivo sobretudo na melhoria da resistência a tração e ao rasgo. Os resultados para a propriedade física densidade aparente comprovaram a melhor acomodação das fibras dos papéis refinados.

O índice de arrebatamento apresentou valores de resistência diretamente proporcionais ao tempo de refinação, mostrando influência positiva desse nesta propriedade. Os tratamentos não – branqueados apresentaram os maiores resultados para o índice de arrebatamento.

O índice de rasgo apresentou melhores resultados nas amostras com idade de 6 anos (branqueado e não – branqueado);

Por meio da presente pesquisa pode-se comprovar que a espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden apresenta características suficientes para ser considerada uma espécie adequada para o emprego na produção de papel branqueado e não – branqueado.

Com base nos resultados e conclusões alcançados neste estudo recomenda-se as seguintes sugestões:

- Realizar estudos em relação morfologia das fibras de *Eucalyptus dunnii* Maiden, os quais permitam observar as modificações nas fibras decorrentes do crescimento em idade;
- Estabelecer um número Kappa objetivo para as polpas celulósicas e analisar as propriedades do papéis obtidos;
- Efetuar estudos que possibilitem analisar a degradação da polpa celulósica ao longo do processo, como a viscosidade;
- Comparar as características dos papéis obtidos a partir da madeira de *E. dunnii* com outra espécie comercialmente utilizada para a fabricação de papel, como o *Eucalyptus grandis*.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Alan Sulato de. **QUALIDADE DA MADEIRA, CELULOSE E PAPEL EM *Pinus taeda* L.:** INFLUÊNCIA DA IDADE E CLASSE DE PRODUTIVIDADE. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- ANDRADE, Alan Sulato de. **UTILIZAÇÃO DE MICROPARTÍCULAS DE LIGNINA KRAFT COMBINADAS COM AMIDO ANFÓTERO VISANDO AUMENTO DAS PROPRIEDADES DO PAPEL EMBALAGEM.** 2010. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- ANTÔNIO, Regina Vasconcellos *et al.* PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA A PARTIR DE DIFERENTES SUBSTRATOS. In: 1º SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO SUL CATARINENSEREV. TÉCNICO CIENTÍFICA (IFSC) – SICT - SUL, 1., 2012, Criciúma. **Rev. Técnico Científica (IFSC).** Criciúma: Ifsc, 2012. v. 3, p. 176 - 182. Disponível em: <<https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/726/480>>. Acesso em: 17 ago. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA) (Sp). **ESTATÍSTICAS BRACELPA: BALANÇA COMERCIAL DO SETOR.** 58. ed. São Paulo: Bracelpa, 2014. 14 p. Disponível em: <<http://bracelpa.org.br/bra2/?q=node/191>>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- BASSA, A.G.M.C.; SILVA JUNIOR, F.G. da; SACON, V.M. MISTURAS DE MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* E *Pinus taeda* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT ATRAVÉS DO PROCESSO Lo-Solids. **Scientia Forestalis**, n.75, p.19-29, 2007.
- BITTENCOURT, Eduardo. **PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.** 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2004/d392_0580-M.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2015.
- BRASIL. Weber Antônio do Amaral Neves. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (Org.). **CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS (CIEF): *Eucalyptus dunnii*.** 2015. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/cief/especies/dunnii.asp>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

CAMPOS, Edison da Silva *et al.* SELEÇÃO DE CRITÉRIOS PARA A ESPECIFICAÇÃO DE PASTAS CELULÓSICAS BRANQUEADAS DE EUCALIPTOS NA FABRICAÇÃO DE PAPÉIS PARA IMPRESSÃO “OFFSET”. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p.57-75, out. 2000. ISSN 0103-9954. Disponível em: <<http://goo.gl/paHul1>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

CARASCHI, José C. *et al.* O EFEITO DA ANTRAQUINONA NO PROCESSO DE POLPAÇÃO SODA E KRAFT DE *Eucalyptus grandis*. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, Itapeva, v. 02, n. 03, p.1-9, 200-. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/icep03/02_Caraschi_Rosa_Santiago_Ventorim.pdf>. Acesso em: 20 maio 2015.

CASEY, James P. (Comp.). **PULPA Y PAPEL: QUÍMICA Y TECNOLOGIA QUÍMICA**. México: Editorial Limusa S.A. de C.V., 1991. 3 v.

CASTRO, Heizir F. de. **PROCESSOS QUÍMICOS INDUSTRIAIS II: PAPEL E CELULOSE**. Lorena: Usp, 2009. 30 p. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

CIT, Everilton José. **QUALIDADE DA FOLHA DE POLPA KRAFT EM DIFERENTES PORÇÕES DE *Pinus taeda* L. E *Eucalyptus dunnii* M.** 2007. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges (Ed.). **BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA: DA PRODUÇÃO DA POLPA MARROM AO PRODUTO ACABADO**. Viçosa: UFV, 2015. 816 p. ISBN: 978-85-7269-532-9.

COLODETTE, Jorge Luiz; GOMIDE, José Lívio; OLIVEIRA, Rubens Chaves de. CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DA POLPA KRAFT DO *Pinus caribaea* Mor. var. *hondurensis* Barr. E Golf. COM RABO-DE-RAPOSA. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 5, n. 2, p.194-209, 1981. Semestral. Disponível em: <<https://goo.gl/vyx3xE>>. Acesso em: 09 nov. 2015.

COLODETTE, Jorge Luiz; SANTOS, Vanessa Lopes Silva. SEÇÃO III: Princípios gerais do branqueamento. In: COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges (Ed.). **Branqueamento de Polpa Celulósica: Da produção da polpa marron ao produto acabado**. Viçosa: **UFV**, 2015. p. 173-202. ISBN: 978-85-7269-532-9.

D'ALMEIDA, M. L. **CELULOSE E PAPEL**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. v.1, 2ª Edição. 1988a.

D'ALMEIDA, M. L. **CELULOSE E PAPEL**. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo. v.2, 2ª Edição. 1988b.

DIAS, Oriane Avancini; SIMONELLI, George. QUALIDADE DA MADEIRA PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL. **Enciclopédia Biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 9, n. 17, p.3632-3646, dez. 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/50s33s>>. Acesso em: 10 set. 2015.

DONINI, Ígor A. N. et al. BIOSÍNTESE E RECENTES AVANÇOS NA PRODUÇÃO DE CELULOSE BACTERIANA. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p.165-168, 2010. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/html/429/42919358021/index.html>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

DUEÑAS, Rubén Sanjuán. **OBTENCIÓN DE PULPAS Y PROPIEDADES DE LAS FIBRAS PARA PAPEL**. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara, 1997. 293 p. Departamento de madeira, celulosa y papel.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas, Curitiba, PR. **ZONEAMENTO ECOLÓGICO PARA PLANTIOS FLORESTAIS NO ESTADO DE SANTA CATARINA**, por Antônio Aparecido Carpanezi e outros. Curitiba, EMBRAPA-CNPQ, 1988.

FERREIRA, Giovanni Willer et al. QUALIDADE DA CELULOSE KRAFT- ANTRAQUINONA DE *Eucalyptus dunnii* PLANTADO EM CINCO ESPAÇAMENTOS EM RELAÇÃO AO *Eucalyptus grandis* E *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p.41-63, jan. 1997. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v7n1/art5v7n1.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

FERREIRA, Paulo. **PROPRIEDADES DO PAPEL**. Coimbra, PT: DEQ-FTCUC, 2008. 49 slides, color. Ciência e Tecnologia da Pasta e do Papel. Disponível em: <<http://goo.gl/CCvGhj>>. Acesso em: 11 nov. 2015.

FOELKEL, Celso. **AS FIBRAS DOS EUCALIPTOS E AS QUALIDADES REQUERIDAS NA CELULOSE KRAFT PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL**. [s. L.]: Eucalyptus Newsletter, 2007. 48 p. Disponível em: <<http://atividaderural.com.br/artigos/53876fa2c6c52.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

FRANCISCO, Roberta P.; CURVELO, Antônio Aprígio da S.. **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE POLPA QUIMIOTERMOMECÂNICA DE *Eucalyptus grandis***. [s. L.]: Instituto de Química de São Carlos - IQSC-USP, [20--]. 6 p. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/icep03/32_Francisco_Curvelo.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2015.

GOMES, Fernando José Borges; ALVES, Ericka Figueiredo. SEÇÃO X: Propriedades de polpas branqueadas: X 4: Propriedades físicas. In: COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges (Ed.). **BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA**: Da produção da polpa marron ao produto acabado. Viçosa: UFV, 2015. Cap. 4. p. 721-734. ISBN: 978-85-7269-532-9.

GOMES, Fernando José Borges; SANTOS, Vanessa Lopes Silva; COLODETTE, Jorge Luiz. SEÇÃO X: Propriedades de polpas branqueadas: X 1: Alvura. In: COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges (Ed.).

BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA: Da produção da polpa marron ao produto acabado. Viçosa: UFV, 2015. Cap. 1. p. 681-690. ISBN: 978-85-7269-532-9.

GOMIDE, Jose Lívio; FANTUZZI NETO, Humberto; REGAZZI, Adair José. ANÁLISE DE CRITÉRIOS DE QUALIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT. **Revista Árvore**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.339-344, 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-67622010000200017.

GOMIDE, José Lívio; GOMES, Fernando José Borges. SEÇÃO II: Produção e Composição das Polpas Não Branqueadas: II 1: Polpas Químicas para Papel. In: COLODETTE, Jorge Luiz; GOMES, Fernando José Borges (Ed.).

BRANQUEAMENTO DE POLPA CELULÓSICA: Da produção da polpa marron ao produto acabado. Viçosa: Ufv, 2015. Cap. 1. p. 59-116. ISBN: 978-85-7269-532-9.

GUIMARÃES, Ingrid Luz *et al.* **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA MADEIRA DE PROCÊDÊNCIAS DE *Eucalyptus***. 17. ed. Goiânia,: Centro Científico Conhecer, 2013. 9 v. (ENCICLOPÉDIA BIOSFERA). Disponível em: <<http://goo.gl/vTLNJY>>. Acesso em: 20 jun. 2015.

Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) (DF). **CENÁRIOS IBÁ: ESTATÍSTICAS DA INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - OUTUBRO DE 2015**. 17. ed. Brasília: IBÁ, 2015. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/Cenarios_outubro.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2015.

JERÔNIMO, Lúcia Helena; FOELKEL, Celso E. B.; FRIZZO, Sonia M. B.. ADIÇÃO DE ANTRAQUINONA NA POLPAÇÃO ALCALINA DE *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p.31-37, 2000. ISSN 0103-9954.

JOVANOVIC, Tom; BOOTH, Trevor H.; (Austrália). Rural Industries Research And Development Corporation. IMPROVED SPECIES CLIMATIC PROFILES. [s. L.]: **Rirdc Publications Unit**, 2002. 68 p. Publication No. 02/095, Project No. CSF-56A, ISBN 064258494X, ISSN 1440-6845. Disponível em: <<http://goo.gl/7rYf1N>>. Acesso em: 21 jul. 2015.

KLOCK, Umberto. **POLPA E PAPEL:** Curitiba, 2015. 53 slides, color. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/papelpropriedades2013.pdf>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de. **QUÍMICA DA MADEIRA**. 4. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. 87 p. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Quimica da Madeira 2013.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **POLPA E PAPEL**. 3. ed. Curitiba: UFPR, 2013. 118 p. (SCA - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA FLORESTAL). Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/manualpolpa2013.pdf>>. Acesso em: 5 jun. 2015.

KUINCHTNER, Angélica; BURIOL, Galileo Adeli. CLIMA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E THORNTONHWAITE. DISCIPLINARUM SCIENTIA: Série: **Ciências Exatas**, Santa Maria, v. 2, n. 1, p.171-182, 2011. Disponível em: <<http://sites.unifra.br/Portals/36/tecnologicas/2001/clima.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2015.

LYND, Lee R. *et al.* MICROBIAL CELLULOSE UTILIZATION: FUNDAMENTALS AND BIOTECHNOLOGY. MICROBIOLOGY AND MOLECULAR BIOLOGY REVIEWS, [s.l.], v. 66, n. 3, p.506-577, 1 set. 2002. **American Society for Microbiology**. DOI: 10.1128/mmbr.66.3.506-577.2002. Disponível em: <<http://mmbr.asm.org/content/66/3/506.full>>. Acesso em: 17 set. 2015.

MOURA, Afonso Moraes de; FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; FRIZZO, Sonia Maria Bitencourt. CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS REDUZIDOS DE ENXOFRE GERADOS NA PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT E PRÉ-HIDRÓLISE KRAFT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p.49-58, 2012. ISSN 0103-9954.

OLIVEIRA, Adalberto Caldas. **AMOSTRAGEM NÃO DESTRUTIVA E QUALIDADE DA MADEIRA EM CLONES DE *Eucalyptus spp.*** 2011. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/38ds1a>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

INTERNATIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 5264-3:1979**: Pulps -- Laboratory beating -- Part 3: Jokro mill method. 1 ed. [s. L.]: Iso, 1979. 5 p.

PEDRAZZI, Cristiane et al. INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE POLPAÇÃO E DO CONTEÚDO DE XILANAS DA POLPA NA BRANQUEABILIDADE. **O PAPEL**, [s. L.], v. 72, n. 5, p.37-55, maio 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/uhCLrh>>. Acesso em: 15 jun. 2015.

PEREIRA, José Carlos Duarte. *et al.* **CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA DE ALGUMAS ESPÉCIES DE EUCALIPTO PLANTADAS NO BRASIL**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).

PEREIRA, José Carlos Duarte. *et al.* **COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA MADEIRA DE TRÊS PROCEDÊNCIAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden, PARA FINS ENERGÉTICOS**. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 13, p. 9-16, 1986.

QUEIROZ, Simone Cristina Setúbal; GOMIDE, José Lívio; COLODETTE, Jorge Luiz and OLIVEIRA, Rubens Chaves de. **INFLUÊNCIA DA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA NA QUALIDADE DA POLPA KRAFT DE CLONES HÍBRIDOS DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** *Rev. Árvore* [online]. 2004, vol.28, n.6, pp. 901-909. ISSN 1806-9088.

ROSSI FILHO, Sérgio. **PAPEL: PROPRIEDADES DO PAPEL DE IMPRESSÃO.** Portugal: Rossi Tecnologia Gráfica Ltda., 2005. 65 p. Disponível em: <<http://www.library.grafyarte.com/categories/manuais-técnicos/apostila-papel.html>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

ROSSI, Sérgio. **PROPRIEDADES DO PAPEL DE IMPRESSÃO.** Florianópolis: UFSC, 20--. 10 p. Edição condensada a partir do original. Disponível em: <<http://goo.gl/qRMIHb>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

SALIBA, Eloísa de Oliveira Simões et al. LIGNINAS: MÉTODOS DE OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 5, p.917-928, 13 dez. 2000. ISSN 0103-8478. Disponível em: <<http://ref.scielo.org/hqhksd>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

SILVA, Maria Emília Calvão Moreira da. **APONTAMENTOS DE TECNOLOGIA DOS PRODUTOS FLORESTAIS: COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA.** Vila Real - PT: Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, 2010. 18 p. Ciências Florestais e Arquitetura Paisagista - UTAD. Disponível em: <http://www.cifap.utad.pt/Composicao_quimica_madeira.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2015.

TAPPI (Ga). LATEST CLO2 BLEACHING APPROACHES, ISSUES TO BE EXPLORED AT 2013 PEERS CONFERENCE. **OVER THE WIRE.** Norcross, set. 2013. The 2013 Tappi Peers, p. 1-1. Disponível em: <<http://www.naylornetwork.com/ppi-otw/articles/?aid=229271&issueID=29131>>. Acesso em: 06 ago. 2015.

TAPPI. T 264 cm-07. **PREPARATION OF WOOD FOR CHEMICAL ANALYSIS.** In: Tappi Test Methods. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004a. 5 p.

TAPPI. T 222 om-11. **ACID-INSOLUBLE LIGNIN IN WOOD AND PULP.** In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004b. 5 p.

TAPPI. T 204 cm-07. **SOLVENT EXTRACTIVES OF WOOD AND PULP.** In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004c. 5 p.

TAPPI. T 211 om-02. **ASH IN WOOD, PULP, PAPER AND PAPERBOARD: COMBUSTION AT 525°C.** In: Tappi Test Methods. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004d. 5 p.

TAPPI. T 258 om-94. **BASIC DENSITY AND MOISTURE CONTENT OF PULPWOOD.** In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004e. 8 p.

TAPPI. T 624 cm-00. **ANALYSIS OF SODA AND SULFATE WHITE AND GREEN LIQUORS**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004f. 5 p.

TAPPI. T650 om-89. **SOLIDS CONTENT OF BLACK LIQUOR**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004g. 5 p.

TAPPI. T 236 om-99. **KAPPA NUMBER OF PULP**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004h. 4 p.

TAPPI. T 205 sp-02. **FORMING HANDSHEETS FOR PHYSICAL TESTS OF PULP**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004i. 4 p.

TAPPI. T 402 om-93. **STANDARD CONDITIONING AND TESTING ATMOSPHERE FOR PAPER**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004j. 4 p.

TAPPI. T 412 om-06. **MOISTURE IN PULP, PAPER AND PAPERBOARD**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004k. 3 p.

TAPPI. T410 om-02. **GRAMMAGE OF PAPER AND PAPERBOARD**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004l. 14 p.

TAPPI. T 411 om-10. **THICKNESS (CALIPER OF PAPER, PAPERBOARD, AND COMBINED BOARD)**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004m. 5 p.

TAPPI. T 220 sp-10. **PHYSICAL TESTING OF PULP HANDSHEETS**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004n. 6 p.

TAPPI. T 404 cm-92. **TENSILE BREAKING STRENGTH AND ELONGATION OF PAPER AND PAPERBOARD (USING PENDULUM-TYPE TESTER)**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004o. 5 p.

TAPPI. T403 om-02. **BURSTING STRENGTH OF PAPER**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004p. 6 p.

TAPPI. T414 om-98. **INTERNAL TEARING RESISTANCE OF PAPER (ELMENDORF-TYPE METHOD)**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004q. 6 p.

TAPPI. T 452 om-02. **BRIGHTNESS OF PULP, PAPER, AND PAPERBOARD (DIRECTIONAL REFLECTANCE AT 457 nm)**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004r. 4 p.

TAPPI. T 519 om-02. **DIFFUSE OPACITY OF PAPER (D/0 PAPER BACKING)**. In: *Tappi Test Methods*. TAPPI Press, Norcross, GA, 2004s. 2 p.

APÊNDICE 1 - Densidade aparente

QUADRO 1 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
1	4	0	0,41 _{1,32}
2		15	0,57 _{0,97}
3		30	0,58 _{0,77}
4		45	0,61 _{0,74}
5	6	0	0,37 _{1,22}
6		15	0,51 _{0,88}
7		30	0,55 _{0,81}
8		45	0,56 _{0,97}
9	7	0	0,39 _{1,39}
10		15	0,50 _{1,10}
11		30	0,51 _{1,65}
12		45	0,55 _{1,00}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 2 - VALORES MÉDIOS DE DENSIDADE APARENTE PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)
13	4	0	0,40 _{1,11}
14		15	0,53 _{1,57}
15		30	0,56 _{0,99}
16		45	0,58 _{0,00}
17	6	0	0,37 _{1,20}
18		15	0,49 _{1,44}
19		30	0,51 _{0,87}
20		45	0,53 _{1,03}
21	7	0	0,39 _{1,39}
22		15	0,49 _{1,11}
23		30	0,51 _{1,39}
24		45	0,51 _{0,87}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).

APÊNDICE 2 - Índice de tração

QUADRO 3 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IT (Nm/g)
1	4	0	34,89 _{8,07}
2		15	79,71 _{9,73}
3		30	82,29 _{10,75}
4		45	90,29 _{11,60}
5	6	0	28,41 _{11,29}
6		15	67,40 _{10,16}
7		30	83,81 _{17,89}
8		45	83,35 _{9,35}
9	7	0	32,74 _{11,28}
10		15	61,71 _{5,69}
11		30	69,03 _{4,84}
12		45	87,23 _{3,61}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 4 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE TRAÇÃO PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IT (Nm/g)
13	4	0	26,72 _{4,10}
14		15	64,41 _{7,01}
15		30	67,89 _{5,84}
16		45	66,67 _{4,07}
17	6	0	18,41 _{33,09}
18		15	54,82 _{10,06}
19		30	65,70 _{15,11}
20		45	62,64 _{5,39}
21	7	0	22,08 _{17,68}
22		15	52,23 _{2,93}
23		30	56,87 _{6,36}
24		45	55,83 _{4,68}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IT – Índice de tração; Subscrito – coeficiente de variação (%).

APÊNDICE 3 - Índice de arrebetamento

QUADRO 5 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA OS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IA (kPam ³ /g)
1	4	0	2,88 _{7,41}
2		15	6,72 _{7,26}
3		30	7,10 _{7,74}
4		45	7,51 _{6,72}
5	6	0	2,17 _{1,70}
6		15	4,99 _{1,67}
7		30	5,93 _{2,00}
8		45	6,36 _{1,31}
9	7	0	2,67 _{4,94}
10		15	5,82 _{5,83}
11		30	5,59 _{4,54}
12		45	6,68 _{7,79}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IA – Índice de Arrebetamento; Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 6 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE ARREBENTAMENTO PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IA (kPam ³ /g)
13	4	0	1,82 _{7,57}
14		15	5,20 _{4,20}
15		30	5,49 _{3,02}
16		45	5,70 _{5,56}
17	6	0	1,57 _{8,03}
18		15	4,17 _{6,65}
19		30	4,79 _{0,75}
20		45	5,10 _{2,77}
21	7	0	1,84 _{8,23}
22		15	4,38 _{6,61}
23		30	4,85 _{14,78}
24		45	4,45 _{9,86}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IA – Índice de Arrebetamento; Subscrito – coeficiente de variação (%).

APÊNDICE 4 - Índice de rasgo

QUADRO 7 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RASGO PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IR (mNm ³ /g)
1	4	0	8,61 _{15,70}
2		15	10,41 _{7,47}
3		30	10,38 _{5,82}
4		45	9,62 _{4,57}
5	6	0	6,91 _{5,86}
6		15	14,61 _{19,03}
7		30	11,82 _{9,59}
8		45	10,73 _{14,99}
9	7	0	7,91 _{6,92}
10		15	13,60 _{9,06}
11		30	13,36 _{7,98}
12		45	12,08 _{2,31}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 8 - VALORES MÉDIOS DO ÍNDICE DE RASGO PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	IR (mNm ³ /g)
13	4	0	5,91 _{18,92}
14		15	9,05 _{10,02}
15		30	10,56 _{4,32}
16		45	9,55 _{5,29}
17	6	0	5,41 _{15,96}
18		15	13,30 _{9,16}
19		30	14,06 _{12,12}
20		45	13,15 _{6,84}
21	7	0	6,86 _{7,19}
22		15	12,81 _{7,51}
23		30	12,71 _{15,01}
24		45	13,52 _{15,28}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: IR – Índice de Rasgo; Subscrito – coeficiente de variação (%).

APÊNDICE 5 - Alvura

QUADRO 9 - VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS NÃO - BRANQUEADOS PRODUZIDOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
1	4	0	42,24 _{1,66}
2		15	40,06 _{0,80}
3		30	39,40 _{1,18}
4		45	38,04 _{1,59}
5	6	0	43,10 _{0,49}
6		15	40,56 _{1,16}
7		30	39,86 _{0,81}
8		45	39,14 _{0,97}
9	7	0	42,10 _{1,40}
10		15	41,20 _{0,49}
11		30	40,44 _{0,51}
12		45	39,44 _{0,98}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 10 - VALORES MÉDIOS DE ALVURA PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	ALVURA (%)
13	4	0	82,16 _{1,39}
14		15	78,56 _{0,57}
15		30	77,23 _{0,41}
16		45	77,86 _{1,91}
17	6	0	88,60 _{0,41}
18		15	86,94 _{0,43}
19		30	86,50 _{0,12}
20		45	85,86 _{0,18}
21	7	0	86,44 _{1,35}
22		15	84,66 _{0,25}
23		30	85,02 _{0,15}
24		45	84,08 _{0,49}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).

APÊNDICE 6 - Opacidade

QUADRO 11 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS NÃO – BRANQUEADOS PRODUZIDOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
1	4	0	97,26 _{0,14}
2		15	95,64 _{0,19}
3		30	95,32 _{0,24}
4		45	94,86 _{0,34}
5	6	0	97,48 _{0,22}
6		15	96,32 _{0,09}
7		30	95,74 _{0,16}
8		45	95,54 _{0,37}
9	7	0	96,08 _{0,09}
10		15	94,72 _{0,14}
11		30	93,88 _{0,22}
12		45	93,72 _{0,44}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).

QUADRO 12 - VALORES MÉDIOS DE OPACIDADE PARA OS PAPÉIS BRANQUEADOS PRODUZIDOS (ORDENADOS POR IDADE)

TRATAMENTO	IDADE (anos)	REFINAÇÃO (min.)	OPACIDADE (%)
13	4	0	91,18 _{0,30}
14		15	89,32 _{0,42}
15		30	88,42 _{0,25}
16		45	87,90 _{0,48}
17	6	0	91,12 _{0,25}
18		15	88,66 _{0,20}
19		30	88,00 _{0,28}
20		45	87,18 _{0,15}
21	7	0	89,48 _{0,40}
22		15	87,58 _{0,25}
23		30	87,00 _{0,59}
24		45	86,36 _{0,35}

FONTE: O autor (2015).

NOTAS: Subscrito – coeficiente de variação (%).